Mit Skyrmionen in die Zukunft

Neue digitale Datenspeicher

Heiko Fuchs[1], Roland Wiesendanger[1]

In den letzten 20 Jahren haben die Informationstechnologie, das Internet und die daraus folgenden Web-Dienste unser Leben im beruflichen und privaten Bereich grundlegend verändert. Überall wurden analoge Verfahren durch digitale Systeme ersetzt, was zu neuen Möglichkeiten und zu neuartigen Dienstleistungen führte. Fotoalben mit eingeklebten Fotos sind inzwischen eine Rarität geworden und in ein paar Jahren werden kleine Kinder nicht mehr wissen, was eine Musik-CD ist. Der Verkauf und vor allem die Vermietung von digitalen Daten über das Internet ist ein entscheidender wirtschaftlicher Faktor geworden und verdrängt bereits die herkömmlichen Datenträger, wie z. B. DVD und das gedruckte Buch.

Die dafür nötigen gigantischen Datenmengen müssen aber irgendwo sicher abgelegt werden. Unsere herkömmlichen Datenspeicher haben sich in den letzten Jahrzehnten zwar auch rasant weiterentwickelt, aber gerade bei mobilen Geräten, wie Smartphones, Smartwatches, Tablet-PCs und Notebooks, ist der verfügbare Speicherplatz meistens viel zu klein.

Wir brauchen also dringend neue Datenspeicher mit viel größerer Kapazität als unsere heutigen Festplatten oder SSD-Speicher.

Stand der Technik

Wenn man auf eine herkömmliche Computer-Festplatte immer mehr Informationen auf kleinerem Raum schreiben möchte, dann müssen die kleinsten magnetischen Bereiche auf Computer-Festplatten, die so genannten Bits, und die Schreib-Lese-Köpfe immer noch kleiner werden (Abb. 1). Aber genau hier gelangen die herkömmlichen magnetischen Speichertechnologien in absehbarer Zeit an ihre physikalischen Grenzen. In den bisher verwendeten magnetischen Speichern bestehen die magnetischen Bits aus vielen Atomen mit einer parallelen Anordnung ihrer magnetischen Momente und können entsprechend ihrer Ausrichtung das binäre Alphabet „0“ und „1“ darstellen. Durch die stetige Miniaturisierung in der Datenspeichertechnik kann aufgrund des magnetischen Streufeldes eine zunehmend stärkere Wechselwirkung zwischen benachbarten Bits stattfinden, was zu Datenverlust führen könnte, da das magnetische Feld des Schreib-Lese-Kopfes nicht nur das zu beschreibende Bit, sondern auch die umliegenden magnetischen Bereiche beeinflussen kann. Zudem gibt es eine minimal mögliche Größe der Bits, die durch das sogenannte superparamagnetische Limit vorgegeben wird. Sinken die Abmessungen der magnetischen Bits unter diese kritische Größe, dann werden diese thermisch instabil und ändern spontan ihre magnetische Ausrichtung, wodurch Daten verloren gehen.

Es müssen also neue Konzepte für die Verarbeitung und Speicherung von digitalen Daten her. Bislang werden die magnetischen Momente, entweder parallel oder antiparallel zueinander angeordnet, also kollinear. Doch es sind auch nichtkollineare Strukturen denkbar, bei denen benachbarte magnetische Momente weit mehr Möglichkeiten haben sich anzuordnen. Diese neuartigen Strukturen sind erst seit Kurzem Gegenstand intensiver Forschung und erschließen zahlreiche neue Anwendungen. Der Durchbruch bei der Untersuchung solch komplexer magnetischer Strukturen kam mit dem Einsatz atomar auflösender magnetischer Mikroskopie-Techniken. Hierzu zählen die magnetsensitive Rastertunnelmikroskopie [1] sowie die Magnetische Austauschkraft-Mikroskopie [2]. Eine spektakuläre Entdeckung, welche in den letzten Jahren durch den Einsatz dieser Mikroskopie in Hamburg gelang, war die Entdeckung sogenannter Skyrmionen in ultradünnen magnetischen Schichten.

Was sind Skyrmionen?

Vor ungefähr 50 Jahren fand der theoretische Physiker Tony Skyrme in nichtlinearen Feldtheorien stabile und lokalisierte Zustände, die er als elementare Teilchen identifizierte. Diese nach ihrem Entdecker benannten „Skyrmionen“ kann man sich als zweidimensionale Knoten eines Vektorfeldes vorstellen. In einem magnetischen System würde dies einer komplexen Magnetisierungsverteilung entsprechen wie sie in Abbildung 2 dargestellt ist.

Aber wie kann man mit Hilfe von magnetischen Skyrmionen digitale Daten speichern? Magnetische Skyrmionen gelten aufgrund ihrer Wirbelstruktur als besonders robust und stabil gegenüber äußeren Einflüssen. Man kann ihnen eine Art Ladung – die sogenannte topologische Ladung – zuordnen, womit es möglich ist, mit einem Skyrmion den Bit-Zustand „1“ (es gibt ein Skyrmion) und „0“ (es gibt kein Skyrmion) darzustellen. Die Hamburger Forschergruppe konnte vor einigen Jahren erstmals zeigen, dass solche Skyrmionen in ultradünnen magnetischen Schichten aus einfachen und häufig vorkommenden Metallen wie Eisen beobachtet werden [3] und dabei extrem klein sein können: nur ein Nanometer im Durchmesser – dies ist Weltrekord!

Im Jahr 2013 gelang den Physikern der Universität Hamburg erstmalig die gezielte Erzeugung und Löschung einzelner magnetischer Skyrmionen [4]. Dazu verwendeten die Forscher einen nur zwei Atomlagen dicken Film aus Palladium und Eisen auf einer Iridium-Oberfläche. Bringt man diese Probe in ein magnetisches Feld, kann man mit Hilfe des magnetsensitiven Rastertunnelmikroskops einzelne und räumlich lokalisierte Skyrmionen beobachten. Jedes Skyrmion setzt sich dabei aus nur etwa einhundert Atomen zusammen. Diese Skyrmionen können mit einem kleinen elektrischen Strom aus der magnetischen Mikroskop-Spitze geschrieben und anschließend (nach Umkehr der Stromrichtung) wieder gelöscht werden (Abb. 3). Bei der Erzeugung eines Skyrmions werden die ansonsten parallel ausgerichteten magnetischen Momente der Atome des ferromagnetischen Films so verwirbelt, dass sich ein magnetisches Skyrmion bildet; beim Löschen wird diese komplizierte Magnetisierungsstruktur wieder aufgelöst.

Skyrmionen in der Praxis

Nun hat ein Datenspeicher mit der mechanisch beweglichen Spitze eines Rastertunnelmikroskops die gleichen Probleme wie aktuelle Festplatten: Die mechanische Ansteuerung der Skyrmionen-Bits ist langsam, die Mechanik unterliegt den normalen Verschleißprozessen und der Speicher muss im Betrieb schwingungsfrei gelagert werden, da es sonst zu Defekten und Datenverlust kommen könnte. Damit wäre dieser neuartige Skyrmionen-Speicher zumindest für mobile Systeme ungeeignet. Aber auch für dieses Problem ist bereits eine Lösung in Sicht: anstatt den Schreib-Lese-Kopf mechanisch über die Oberfläche zu fahren [5], können die Skyrmionen mit Hilfe eines elektrischen Stroms unter diesem vorbei bewegt werden (Abb. 4). Dazu kann man einen dünnen Streifen aus Eisen verwenden, in dem die Skyrmionen erzeugt werden können. Über einer Stelle des Streifens wird ein Schreib-

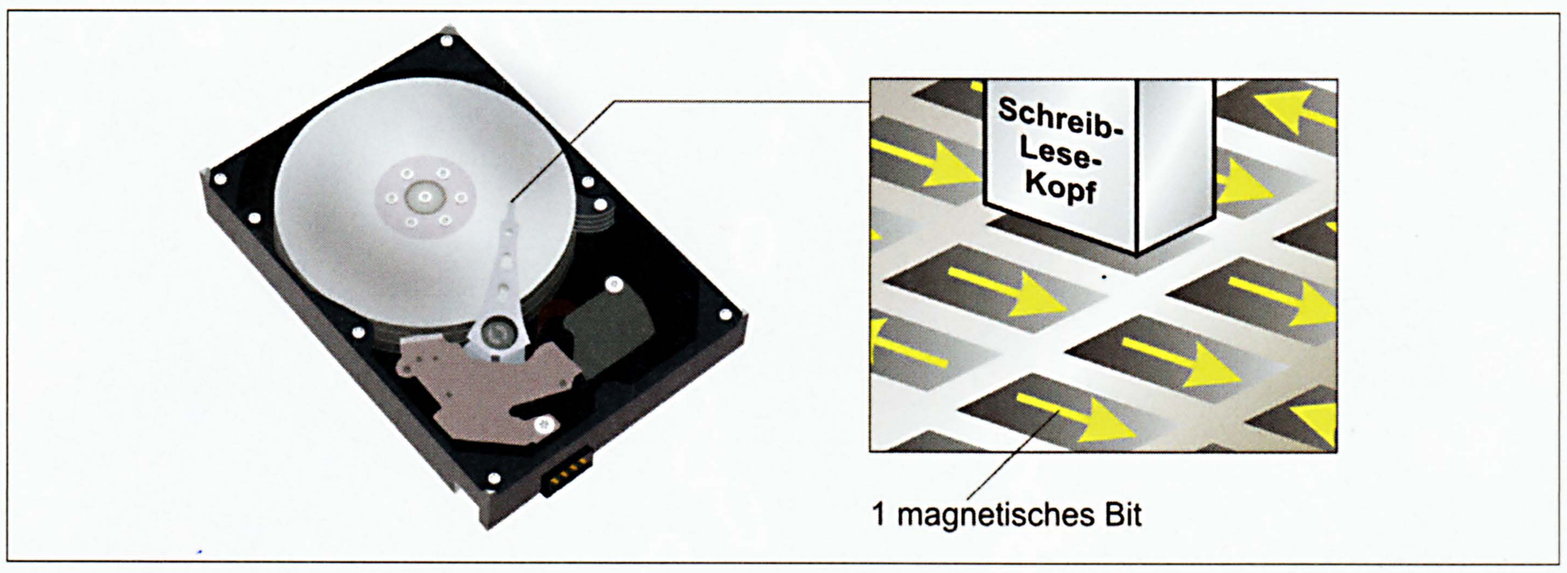


Abb. 1: Das Funktionsprinzip von Computer-Festplatten: Auf den Scheiben befinden sich kleine magnetische Bereiche, die sogenannten magnetischen Bits. Zum „Lesen“ fährt der Schreib-Lese-Kopf alle magnetischen Bereiche auf den Festplatten-Scheiben an und fragt deren magnetische Ausrichtung ab. Ein magnetisches Bit kann ähnlich dem Nord- und Südpol eines Stabmagneten zwei Zustände annehmen, die sich als „0“ und „1“ darstellen lassen. Um Daten zu „Schreiben“ benutzt der Schreib-Lese-Kopf ein magnetisches Feld und zwingt den Bits eine von zwei möglichen magnetischen Ausrichtungen auf. (Bildquelle: H. Fuchs, Universität Hamburg)

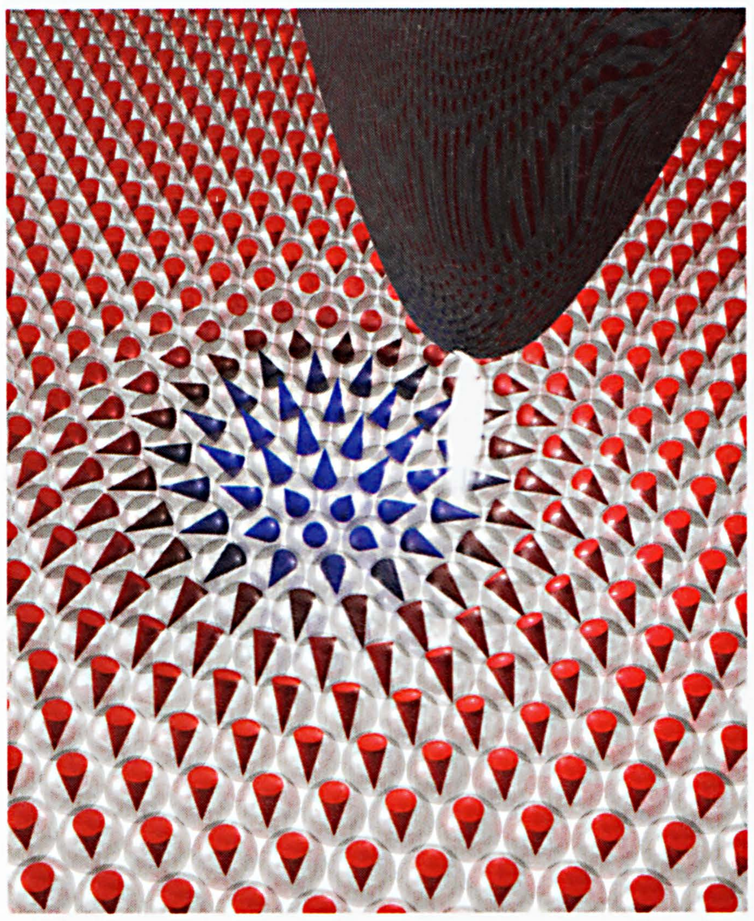


Abb. 2: Die Abbildung zeigt ein einzelnes magnetisches Skyrmion, bei dem sich die magnetischen Momente mit einem einheitlichen Drehsinn innerhalb einer Ebene um 360° drehen. Darüber sieht man die magnetische Spitze eines magnetsensitiven Rastertunnelmikroskops, das mit Hilfe eines Elektronentunnelstroms das Skyrmion auf atomarer Skala abbilden kann. (Bildquelle: A. Kubetzka, Universität Hamburg)

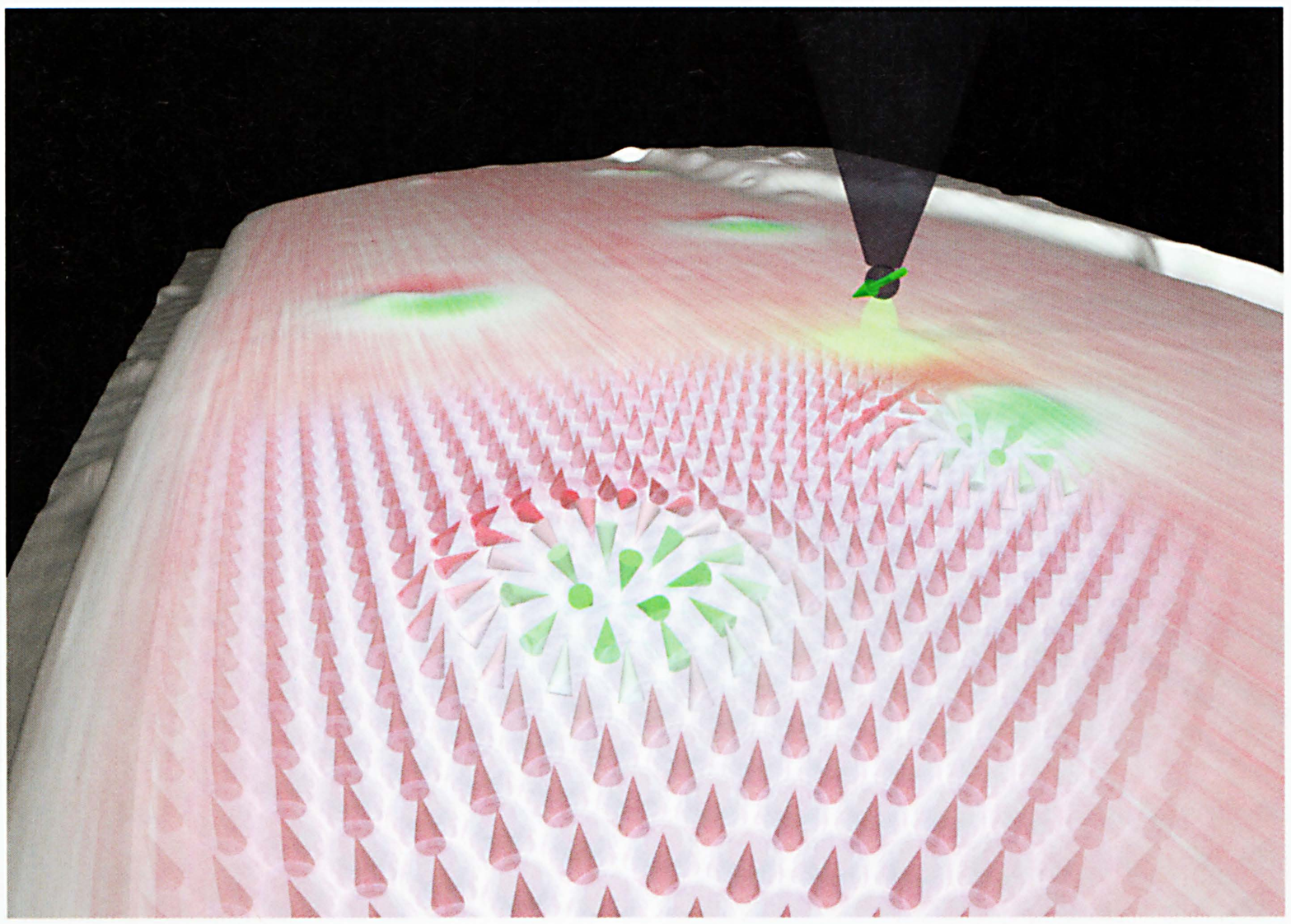
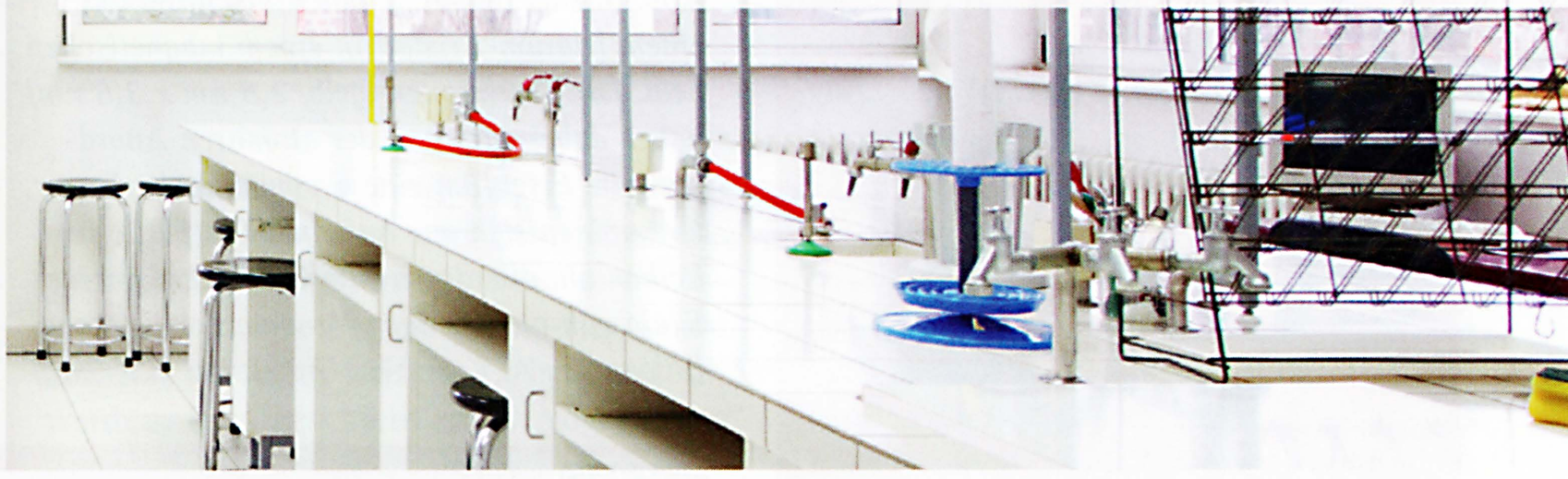


Abb. 3: Das Bild zeigt die Daten einer magnetsensitiven Rastertunnelmikroskopie-Messung, hinterlegt mit der Magnetisierungsverteilung der Probe, die durch farbige Kegel dargestellt ist. Mit der magnetischen Spitze können die Skyrmionen (die vier grünen Bereiche, Durchmesser: 3 nm) präzise eingeschrieben, ausgelesen und auch wieder gelöscht werden. (Bildquelle: N. Romming, Universität Hamburg)

Zuverlässigkeit und Sicherheit im Laborbereich

- Menügeführte Profi-Elektronik mit Klartext-Anzeige zur präzisen Temperatureinstellung
- Optischer und akustischer Temperatur-, Türöffnungs- und Netzausfallalarm
- Integrierter 12 Volt Akku zur Stromversorgung der Elektronik bei Netzausfall
- Integrierter Datenspeicher zur Dokumentation von Alarmereignissen und Innenraumtemperaturen
- Infrarot-Schnittstelle, serielle Schnittstelle RS 485 und potentialfreier Kontakt zur externen Temperatur- und Alarmdokumentation
- 3-Punkt-Kalibrierung zur äußerst präzisen Temperatursteuerung



www.lab.liebherr.com

LIEBHERR

Qualität, Design und Innovation

Hall 20, Stand A28
16 – 18 May 2017
LAB VOLUTION

For real Explorers
The all-in-one Solution for Western blotting!

READYTECTOR
easy, quick and clear

Blocking, primary and secondary antibody in one step!

www.readytector.com

CANDOR Bioscience GmbH

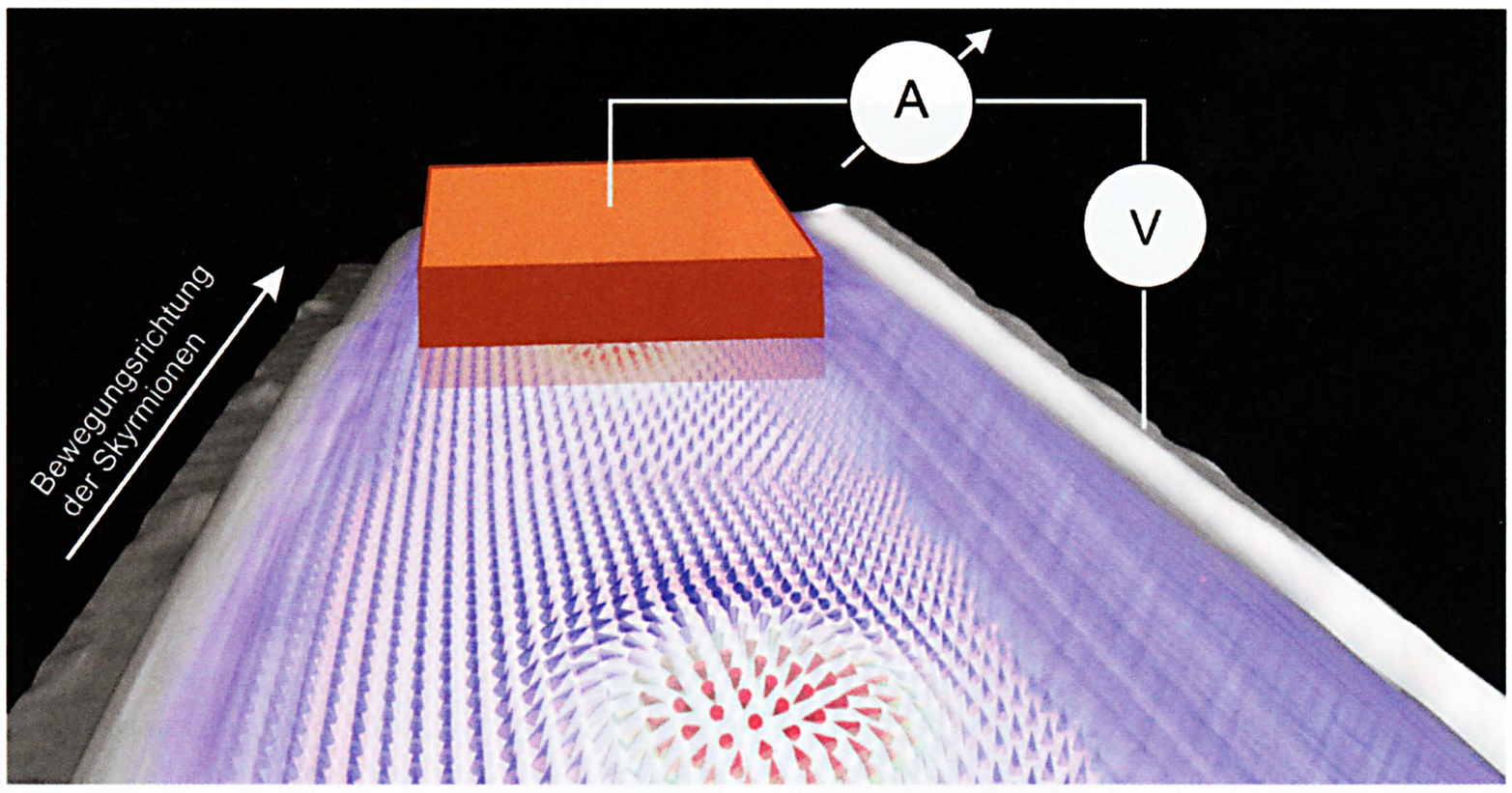


Abb. 4: Prinzip eines Skyrmionenspeichers mit ortsfestem Schreib-Lese-Kopf: die Skyrmionen werden durch einen elektrischen Strom angetrieben und nacheinander unter dem Schreib-Lese-Kopf hindurchbewegt. Damit können die magnetischen Bits ohne bewegte mechanische Teile eingeschrieben, ausgelesen und auch wieder gelöscht werden. (Bildquelle: N. Romming, H. Fuchs, Universität Hamburg)

Lese-Kopf angebracht, der die darunter hindurch bewegten Skyrmionen auslesen bzw. löschen und schreiben kann. Trotz der Bewegung bleiben die winzigen Wirbel stabil und liefern somit die Grundlage für einen robusten Datenträger ohne bewegliche Bauteile, der zur sicheren Speicherung von riesigen Informationsmengen genutzt werden kann und gleichzeitig ähnlich unverwüstlich wie ein herkömmlicher USB-Stick ist.

Im Jahr 2016 konnte gezeigt werden, dass für die Erzeugung und Löschung von magnetischen Skyrmionen ein einfaches elektrisches Feld ausreicht. Dabei bestimmt einzig und allein die Richtung des elektrischen Feldes, ob ein magnetischer Wirbel erzeugt oder gelöscht wird. Dadurch ergibt sich zum einen eine einfachere technische Umsetzung eines Skyrmionen-Datenspeichers und es eröffnen sich völlig neue Möglichkeiten, z. B. eine Art Computerchip ähnlich wie in unseren SSD-Festplatten, bei denen aber magnetische Skyrmionen verwendet werden.

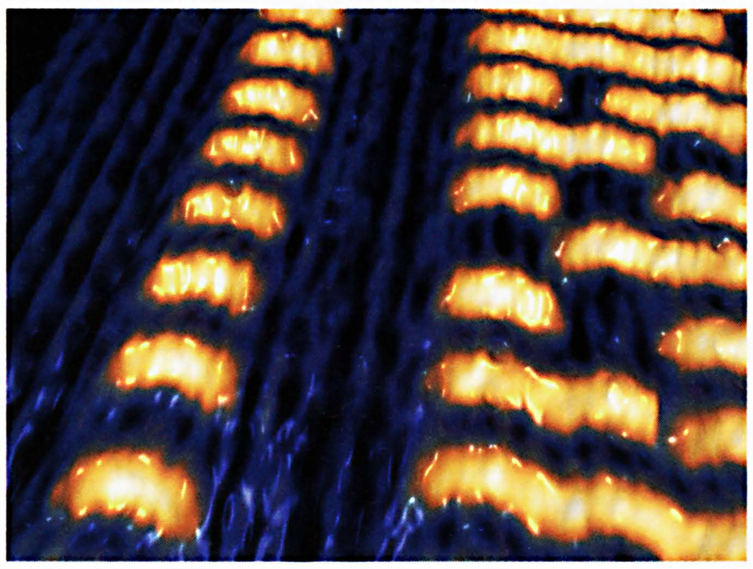


Abb. 5: Das Bild zeigt einen Eisenfilm auf einem Iridium-Kristall in einem magnetischen Feld. Die Skyrmionen (gelb, 2,5 nm x 3,5 nm) haben dabei aufgrund der atomaren Anordnung im Eisenfilm eine asymmetrische Form und ordnen sich wie auf einer Festplatte in Reihen an, allerdings auf einer viel kleineren Skala von nur wenigen Nanometern. (Bildquelle: A. Kubetzka, Universität Hamburg)

Fazit

Mit Hilfe der magnetischen Skyrmionen werden sich zukünftig die Nullen und Einsen auf magnetischen Datenträgern noch einmal um das Tausendfache dichter packen lassen als mit herkömmlicher Technologie. Neben der massiven Zunahme der Datenspeicherkapazität muss auch der deutlich geringere Energieverbrauch erwähnt werden, den solche Skyrmionen-Speicher im Vergleich zu aktuellen Systemen hätten. Die weitere Erforschung und Entwicklung von Skyrmionen-Speicher stellt somit einen wichtigen Beitrag zu einer umweltfreundlichen IT-Technologie der Zukunft dar.

Zugehörigkeit:
[1] Fachbereich Physik, Universität Hamburg, Hamburg

KONTAKT

Heiko Fuchs
Universität Hamburg
Fachbereich Physik
Hamburg
hfuchs@physnet.uni-hamburg.de

Weitere Beiträge zum Thema:
http://bit.ly/GIT-Datenspeicher

[1] Referenzen unter:
http://bit.ly/GIT-Fuchs